



Instytut Matematyki, Fizyki i Chemii
Zakład Chemii

Laboratorium paliw, olejów i smarów

Ćwiczenie laboratoryjne

**Pomiar lepkości dynamicznej oleju smarowego metodą Höpplera
oraz wyznaczanie wskaźnika lepkości WL**

Opracowali:

dr inż. Jan Krupowies

mgr inż. Czesław Wiznerowicz

dr inż. Agnieszka Kalbarczyk-Jedynak

dr inż. Konrad Ćwirko

dr Magdalena Ślęczka-Wilk

KIEROWNIK
Zakładu Chemii
Agnieszka Kalbarczyk-Jedynak
dr inż. Agnieszka Kalbarczyk-Jedynak

Szczecin 2022

KARTA ĆWICZENIA

1	Powiązanie z przedmiotami: ESO/25, 27 DiRMiUO/25, 27 EOUNiE/25, 27		
	Specjalność/Przedmiot	Efekty kształcenia dla przedmiotu	Szczegółowe efekty kształcenia dla przedmiotu
	ESO/26 Chemia wody, paliw i smarów	EKP3 K_U014, K_U015, K_U016.	SEKP12 – Wykonywanie oznaczeń wybranych wskaźników jakości produktów naftowych;
	DiRMiUO/26 Chemia wody, paliw i smarów	EKP3 K_U014, K_U015, K_U016.	SEKP12 – Wykonywanie oznaczeń wybranych wskaźników jakości produktów naftowych;
EOUNiE/26 Chemia wody, paliw i smarów	EKP3 K_U014, K_U015, K_U016.	SEKP12 – Wykonywanie oznaczeń wybranych wskaźników jakości produktów naftowych;	
2	Cel ćwiczenia: nauczenie studenta samodzielnego wykonywania pomiaru lepkości oraz wyznaczania wskaźnika lepkości WL olejów smarowych;		
3	Wymagania wstępne: student jest przeszkolony w zakresie regulaminu BHP na stanowisku laboratoryjnym, co stwierdza własnoręcznym podpisem na odpowiednim formularzu, zna – pojęcie lepkości i jej rodzaje oraz jednostki, metodę Höpplera pomiaru lepkości dynamicznej, zna pojęcie wskaźnika lepkości WL oraz sposób jego obliczania, sposób przeliczania danej lepkości na inne rodzaje lepkości, znaczenie eksploatacyjne lepkości i wskaźnika lepkości oraz wartości graniczne tych parametrów użytkowych dla olejów smarowych;		
4	Opis stanowiska laboratoryjnego: ultratermostaty, wiskozymetry Höpplera, sekundomierze, zestaw areometrów, termometr, specjalny cylinder stosowany przy pomiarach gęstości, stanowisko do mycia aparatów pomiarowych i szkła laboratoryjnego benzyną ekstrakcyjną, próbki olejów smarowych lub innych produktów naftowych;		
5	Ocena ryzyka*: kontakt z produktem naftowym ogrzany do 100°C, kontakt z benzyną ekstrakcyjną stosowaną do mycia aparatów pomiarowych i szkła laboratoryjnego – prawdopodobieństwo poparzenia termicznego gorącym olejem oraz powstania zagrożenia pożarowego w związku z obecnością pary benzyny łatwopalnej – (zagrożenia bardzo małe ze względu na sprawnie działającą wentylację i małe stężenie lotnych par benzyny). Końcowa ocena – ZAGROŻENIE MAŁE Wymagane środki zabezpieczenia: a. fartuchy ochronne, b. środki czystości BHP, czyściwo, ręczniki papierowe, c. pojemnik na odpady produktów naftowych (do utylizacji), d. pojemnik na zlewki brudnej benzyny (do regeneracji);		
6	Przebieg ćwiczenia: a. Zapoznać się z instrukcją stanowiskową (załącznik 1) oraz zestawem laboratoryjnym do ćwiczenia, b. Wykonać pomiary lepkości oleju smarowego lub innego produktu naftowego w temperaturach 40°C i 100°C i na podstawie pomiarów obliczyć WL (w przypadku badania olejów smarowych);		

7	<p>Sprawozdanie z ćwiczenia:</p> <p>a. Opracować ćwiczenie zgodnie z poleceniami zawartymi w instrukcji stanowiskowej,</p> <p>b. Na podstawie przeprowadzonych pomiarów lepkości i obliczonego WL określić jakość i przydatność eksploatacyjną badanego oleju przez porównanie oznaczonych parametrów z dopuszczalnymi wartościami w eksploatacji,</p> <p>c. Na podstawie uzyskanych wyników określić przyczyny eksploatacyjne zaistniałych zmian stanu oleju i w związku z tym przeprowadzić wnioskowanie diagnostyczne o stanie silnika. W razie potrzeby zaproponować stosowne działania naprawcze;</p>
8	<p>Archiwizacja wyników badań:</p> <p>Sprawozdanie z wykonanego ćwiczenia złożyć w formie pisemnej prowadzącemu zajęcia.</p>
9	<p>Metoda i kryteria oceny:</p> <p>a. EKP1, EKP2 – zadania polecone do samodzielnego rozwiązania i opracowania: ocena 2,0 – nie ma podstawowej wiedzy fizykochemicznej i eksploatacyjnej dotyczącej lepkości produktów naftowych i WL olejów smarowych oraz umiejętności rozwiązywania zadań prostych z tego zakresu; ocena 3,0 – posiada podstawową wiedzę fizykochemiczną i eksploatacyjną dotyczącą lepkości produktów naftowych i WL olejów smarowych oraz umiejętność obliczeń i rozwiązywania zadań prostych z tego zakresu; ocena 3,5-4,0 – posiada poszerzoną wiedzę fizykochemiczną i eksploatacyjną dotyczącą oznaczanych parametrów użytkowych badanych produktów naftowych oraz umiejętność rozwiązywania zadań złożonych z tego zakresu; ocena 4,5-5,0 – posiada umiejętność stosowania złożonej wiedzy fizykochemicznej i eksploatacyjnej do cząstkowej oceny jakości i przydatności eksploatacyjnej badanych produktów naftowych ze względu na oznaczane parametry użytkowe oraz umiejętność podejmowania na tej podstawie decyzji eksploatacyjnych.</p> <p>b. EKP3 – prace kontrolne: ocena 2,0 – nie ma umiejętności analizy i oceny wyników wykonanych analiz i oznaczeń oraz wyciągania wniosków; ocena 3,0 – posiada umiejętność analizy uzyskanych wyników, interpretacji praw i zjawisk, przekształcania wzorów, interpretacji wykresów i tablic; ocena 3,5-4,0 – posiada umiejętność poszerzonej analizy wyników, stosowania praw, konstruowania monogramów i wykresów; ocena 4,5-5,0 – posiada umiejętność kompleksowej analizy uzyskanych wyników, dokonywania uogólnień, wykrywania związków przyczynowo-skutkowych oraz podejmowania właściwych decyzji eksploatacyjnych.</p>
10	<p>Literatura:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Krupowies J., Wiznerowicz Cz.: Pomiar lepkości dynamicznej oleju smarowego metodą Höpplera oraz wyznaczanie wskaźnika lepkości WL. Instrukcja stanowiskowa do ćwiczenia, AM, Szczecin 2013. 2. Barcewicz K.: Ćwiczenia laboratoryjne z chemii wody, paliw i smarów. Wyd. AM w Gdyni, Gdynia 2006. 3. Podniało A.: Paliwa oleje i smary w ekologicznej eksploatacji. WNT, Warszawa 2002. 4. Przemysłowe środki smarne. Poradnik. TOTAL Polska Sp. z o.o., Warszawa 2003. 5. Urbański P.: Paliwa i smary. Wyd. FRWSzM w Gdyni, Gdańsk 1999. 6. Krupowies J.: Badania zmian parametrów fizykochemicznych silnikowych olejów smarowych eksploatowanych na statkach Polskiej Żeglugi Morskiej. WSM w Szczecinie, Studia nr 27, Szczecin 1996.

	<p>7. Krupowies J.: Badania zmian właściwości oleju obiegowego okrętowych silników pomocniczych. WSM w Szczecinie, Studia nr 40, Szczecin 2002.</p> <p>8. Normy PN/EN/ISO dotyczące badania produktów naftowych.</p> <p>9. Katalogi produktów naftowych firm olejowych.</p> <p>10. Dudek A.: Oleje smarowe Rafinerii Gdańskiej. „MET-PRESS”, Gdańsk 1997.</p> <p>11. Baczewski K., Biernat K., Machel M.: Samochodowe paliwa, oleje i smary. Leksykon, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1993.</p> <p>12. Herdzik J.: Poradnik motorzysty okrętowego. Wydawnictwo TRADEMAR, Gdynia 1995.</p>
10	Uwagi

ZAŁĄCZNIK 1 – INSTRUKCJA

1. ZAKRES ĆWICZENIA

- zapoznanie się z instrukcją stanowiskową do ćwiczenia,
- wykonanie pomiaru lepkości dynamicznej oleju smarowego metodą Höpplera w temperaturze 40°C i 100°C,
- obliczenie wskaźnika lepkości (WL),
- ocena przydatności eksploatacyjnej badanego oleju na podstawie konfrontacji z wartościami granicznymi lepkości.

2. WPROWADZENIE TEORETYCZNE DO ĆWICZENIA

2.1. Lepkość

Pod pojęciem lepkości cieczy rozumie się tarcie wewnętrzne, powodujące w warunkach przepływu laminarnego opór przy przesuwaniu się warstw względem siebie, będące wynikiem istnienia sił kohezji między cząsteczkami cieczy. Wykorzystując wzór Newtona można lepkość dynamiczną określić następującym równaniem:

$$\eta = \frac{F}{S} \cdot \frac{dv}{dy}$$

gdzie:

$\frac{F}{S}$ – naprężenie styczne ścinające, jako stosunek siły (F) działającej na powierzchnię (S) w płaszczyźnie równoległej do kierunku przepływu cieczy,

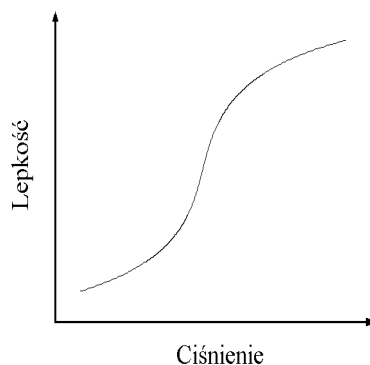
$\frac{dv}{dy}$ – gradient prędkości warstewki cieczy, jako spadek prędkości (v) na grubość warstwy (y).

Lepkość jest własnością zależną od temperatury i ciśnienia. Dla produktów naftowych zależności te mają bardzo istotne znaczenie praktyczne.^{*/}

Wpływ ciśnienia na lepkość produktów naftowych ma duże znaczenie praktyczne, ponieważ w niektórych węzłach tarcia wytwarzane są ciśnienia od kilku do kilkudziesięciu tysięcy MPa. Na przykład w łożyskach wału korbowego silnika spalinowego naciski jednostkowe wynoszą około 20 MPa, w łożyskach sworzni tłokowego od 50 do 80 MPa, zaś w przekładniach zębatych naciski w obszarze zazębienia osiągają wartość kilkuset, a nawet kilku tysięcy MPa.

Powodem wzrostu lepkości przy wzroście ciśnienia jest zbliżanie cząsteczek cieczy i zwiększenie oddziaływań międzycząsteczkowych.

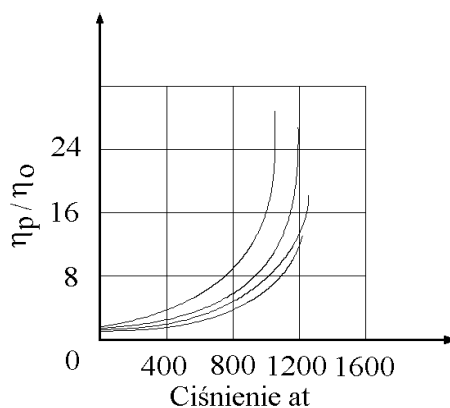
^{*/} Zależność lepkości od temperatury omówiono przy wskaźniku lepkości



Rys. 1. Ogólna zależność lepkości od zmian ciśnienia

Na rysunku 1 przedstawiono schematycznie wpływ ciśnienia na lepkość oleju. W zakresie wysokich ciśnień, około kilku tysięcy MPa, zaznacza się wpływ odpychania międzycząsteczkowego i krzywa zbliża się asymptotycznie do pewnej stałej wartości. Zwiększanie się lepkości w miarę wzrostu ciśnienia zależy również od temperatury. W temperaturach wyższych zależność ta jest mniejsza niż w temperaturach niższych. Dla produktów naftowych szczególne znaczenie ma indywidualny charakter tej zależności, uwarunkowany różnicami w składzie grupowym węglowodorów i zawartością dodatków. Na rysunku 2 pokazano te różne zależności.

Znaczny wpływ na lepkość produktów naftowych wywiera także woda w postaci zemulgowanej, co jest dość częstym przypadkiem w okrętownictwie. Zawsze jednak lepkość emulsji jest wyższa niż czystego produktu naftowego.



η_p – lepkość oleju pod ciśnieniem P

η_o – lepkość oleju pod ciśnieniem at

Rys. 2. Zależność lepkości olejów smarowych od ciśnienia wg. Gurewicza

W praktyce okrętowej znaczenie lepkości paliw, przy stosowaniu paliw ciężkich, związane jest z szeregiem czynników. Przede wszystkim lepkość decyduje o możliwości przepompowywania paliwa i wydajności pompowania. Od lepkości uzależniona jest jakość oczyszczania w systemie paliwowym. Zależy też od niej prawidłowa praca pompek paliwowych, w których paliwo spełnia rolę czynnika smarującego. Lepkość ma decydujący wpływ na jakość rozpylania i spalania paliwa. Maksymalne i minimalne wartości lepkości na wtrysku podają producenci silników okrętowych. Maksymalna lepkość przy temperaturze wtrysku wynosi od 21 do 30 mm^2/s , natomiast minimalna 2 mm^2/s , a optymalna od 12 do

17 mm²/s. Jedną z ważnych czynności mechanika okrętowego przy eksploatacji siłowni okrętowej jest regulacja lepkości paliwa w procesie jego oczyszczania oraz przy zasilaniu silnika. Wykorzystuje się wtedy zależność od temperatury, która jest parametrem regulowanym automatycznie, bądź ręcznie.

Lepkość w odniesieniu do olejów smarowych jest najważniejszą ich własnością. Zależy od niej możliwość stworzenia i utrzymania warunków hydrodynamicznego tarcia płynnego. Wywiera ona także poważny wpływ na smarowanie przy tarcu elasto hydrodynamicznym i mieszanym. Od lepkości więc zależne są rodzaj i straty tarcia, a pośrednio sprawność, trwałość i niezawodność urządzenia smarowanego. W silnikach spalinowych lepkość decyduje o stopniu uszczelnienia tłoka w cylindrze, skuteczności chłodzenia silnika oraz o możliwości i szybkości uruchomienia silnika nienagrzanego.

Podobnie jak w przypadku paliw, od lepkości oleju smarowego zależy jakość jego oczyszczania i wydajność pompowania.

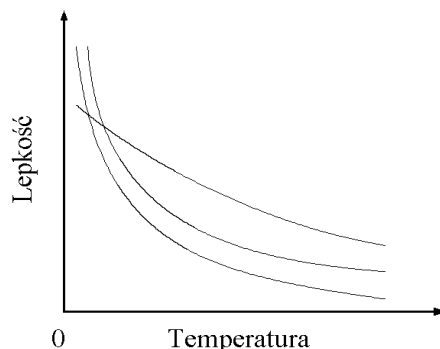
Lepkość oleju wpływa zasadniczo na wyniki eksploatacyjne silnika, w tym na jednostkowe zużycie paliwa oraz na zużycie współpracujących części. Jeśli jest zbyt mała, może nastąpić zatarcie. Przy zbyt dużej lepkości oleju jego dopływ do odległych miejsc smarowania może być przerwany, skutkiem czego nastąpi zatarcie oraz wzrost strat mocy silnika wskutek zwiększonych oporów tarcia wewnętrznego, gdyż współczynnik tarcia wewnętrznego oleju jest wprost proporcjonalny do jego lepkości – zgodnie z hydrodynamiczną teorią smarowania. Za krytyczną minimalną lepkość oleju uważa się lepkość równą 3 mm²/s. Trudniej jest określić górną granicę lepkości, gdyż wartość ta jest różna dla różnych silników. Podczas eksploatacji lepkość zmienia się w porównaniu z lepkością oleju świeżego – może maleć lub wzrastać.

Spadek lepkości następuje wskutek przedostawania się do skrzyni korbowej paliwa („lejące wtryskiwacze”) oraz nie spalonych resztek paliwa lekkiego, zgarnianych wraz z olejem z gładzi cylindrowej. Wzrost lepkości oleju spowodowany jest wzrastającą ilością zanieczyszczeń, gromadzących się w nim w miarę upływu czasu. Tłumaczy się to tym, że olej zanieczyszczony uważany jest za mieszaninę dyspersyjną, tzn. mieszaninę cząstek stałych zawieszonych w cieczy. Ponieważ zanieczyszczenia powiększają objętość fazy rozproszonej poprzez wzrost ich wielkości i liczby w oleju, powodują zatem wzrost lepkości mieszaniny dyspersyjnej.

2.2. Wskaźnik lepkości

Wskaźnik lepkości jest wielkością charakteryzującą zmiany lepkości w zależności od zmian temperatury. Jest to wielkość bezwymiarowa badana w sposób umowny, którą wprowadzili Dean i Davis w 1929 r. wyłącznie w odniesieniu do olejów smarowych. Wskaźnik ten ze względu na konieczność wypełniania nowych funkcji przez olej w szerokim zakresie temperatur ma wielkie znaczenie przy ocenie olejów smarowych, szczególnie silnikowych. Im mniejsze są zmiany lepkości oleju smarowego z temperaturą, tym większy jest jego wskaźnik lepkości i lepsza jakość oraz przydatność oleju. Pojęcie wskaźnika lepkości wprowadzono ze względu na dużą różnicę zależności lepkości od temperatury dla różnego rodzaju olejów smarowych. Przyczyną tego są różnice w składzie grupowym węglowodorów, ich strukturze oraz obecności innego typu związków. Istota zagadnienia polega na tym, że zawsze przy wzroście temperatury następuje spadek lepkości produktu naftowego, ale przebieg tej zależności jest zawsze inny, ma charakter indywidualny. Oznacza to, że dwa różne oleje o tej samej lepkości w temperaturze t_1 , mają w innej temperaturze t_2 różną lepkość. Dotychczas nie udało się ustalić ogólnej zależności pomiędzy lepkością a zmianami temperatury. Przyczyną tych zmian są zmiany odległości między cząsteczkami. Jest

to równoznaczne ze zmianami wzajemnego oddziaływania. Na rys. 3 podano przykładowe krzywe zależności lepkości olejów od temperatury.



rys. 3. Zależność lepkości olejów od temperatury

W praktyce okrętowej często występuje konieczność przeliczania lepkości przy różnych temperaturach. Należy wówczas posługiwać się odpowiednimi tabelami lub nomogramami, które zazwyczaj znajdują się na statku. Trzeba jednak pamiętać o tym, że pomiędzy tymi materiałami (pochodzącymi z różnych źródeł), występują zwykle nieznaczne różnice. Spowodowane to jest koniecznością opierania się na pewnym uśrednionym przebiegu zależności lepkości od temperatury przy sporządzaniu wspomnianych wyżej materiałów. Powyższe błędy i niedokładności eliminuje w pewnym stopniu korzystanie ze wskaźnika lepkości olejów.

Znaczenie teoretyczne jak i praktyczne wskaźnika lepkości jest jednak ograniczone wąskim zakresem stosowanych temperatur pomiaru (40°C i 100°C). Nie może on zatem charakteryzować zachowania olejów w temperaturach odbiegających znacznie od wyżej podanych, dla których jest on wyznaczany.

Wskaźnik lepkości ma charakter empiryczny, ponieważ określa zależność lepkości od temperatury w stosunku do dwóch grup olejów wzorcowych, a mianowicie olejów serii H otrzymywanych z ropy pensylwańskiej, którym przyporządkowana jest wartość wskaźnika lepkości równa 100 oraz olejów serii L pochodzących z ropy kalifornijskiej, dla których wskaźnik lepkości przyjęto równy 0. Im wyższa jest wartość wskaźnika lepkości oleju, tym lepsze ma on własności eksploatacyjne (mniejszą zależność lepkości od zmian temperatury). Wartości WL olejów stosowanych do silników okrętowych nie powinny być mniejsze niż 90.

3. WYKONANIE ĆWICZENIA

3.1. Oznaczanie lepkości produktów naftowych

Rozróżnia się kilka rodzajów lepkości: dynamiczną, kinematyczną i względną. Jednostką lepkości dynamicznej η w układzie SI jest 1 Ns/m^2 (równy $1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$).

Odwrotność lepkości dynamicznej cieczy określa się jako płynność $\rho = \frac{1}{\eta}$.

Lepkość kinematyczna ν cieczy jest to stosunek lepkości dynamicznej cieczy do jej gęstości w tej samej temperaturze:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}$$

Jednostką lepkości kinematycznej w układzie SI jest [m²/s].

Oznaczanie lepkości przeprowadza się za pomocą aparatów zwanych lepkościerzami (lub wiskozymetrami). Aparaty te można podzielić w zależności od zasady ich działania:

1. lepkościerz kapilarny, za pomocą których oznacza się czas przepływu cieczy przez kapilary – lepkościerz Ostwalda-Pinkiewicza i Vogel-Ossaga;
2. lepkościerz Englera – pomiar lepkości cieczy polega na ustaleniu względnego czasu wypływu ściśle określonej objętości cieczy;
3. lepkościerz, w których oznaczenie lepkości przeprowadza się na podstawie prędkości opadania ciała stałego (kulki) – metoda Höpplera lub zanikania drgań ciała stałego w badanej cieczy – metoda Gurewicza oraz lepkościerz ultradźwiękowe.

Oznaczanie lepkości lepkościerzem Höpplera

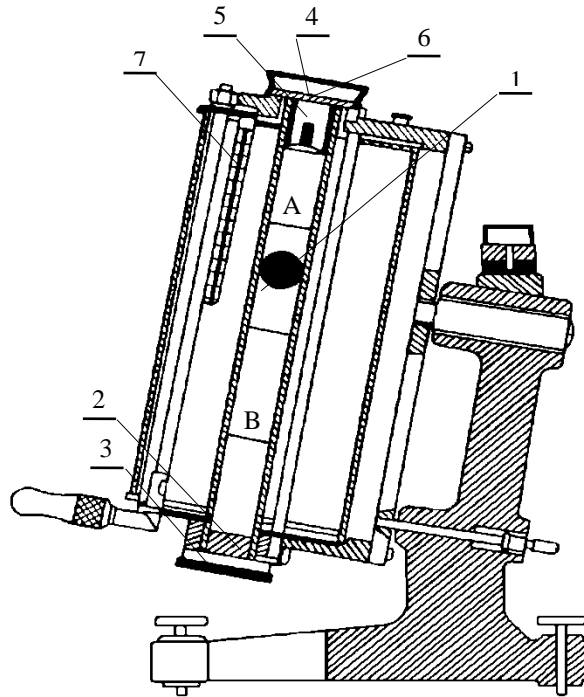
Wewnętrzną ścianę rurki spadowej – 1 (rys. 4) lepkościerza oraz wszystkie inne części (2, 3, 6, 7) przed i po każdym pomiarze dokładnie przemyć benzyną, alkoholem etylowym i wysuszyć ciepłym strumieniem powietrza (z suszarki). Następnie po zamknięciu dolnego otworu rurki spadowej korkiem – 2 i dociśnięciu lekko zakrętką kołpakową – 3, napełnić rurkę badaną próbką do wysokości 25 mm poniżej górnej jej krawędzi. Produkt należy wlewać ostrożnie po ścianie, aby uniknąć powstawania pęcherzyków. Za pomocą pincety wprowadzić do rurki odpowiednią kulkę (której średnicę dobiera się na podstawie tabeli 1).

Rurę spadową zamknąć od góry korkiem metalowym – 4 tak, aby badany produkt wypływał przez kapilarę korka – 5 i napełnić ją do wysokości 3 mm poniżej górnej krawędzi. Następnie nałożyć pokrywę korka – 6 i zakręcić nakrętkę kołpakową – 3. W przypadku oznaczania w temperaturze powyżej 20°C, nie zakręcać nakrętki kołpakowej aż do chwili osiągnięcia temperatury pomiaru. Po ustaleniu w płaszczu lepkościerza wymaganej temperatury (po 15 min.) rozpocząć pomiar. W tym celu należy przez obrót płaszcza o kąt 180° doprowadzić kulkę do górnego położenia. Po ponownym obrocie pionowym płaszcza o kąt 180° zablokować lepkościerz i w momencie, gdy najniższy poziom kulki osiągnie położenie górnej kreski A na rurce spadowej, włączyć sekundomierz a wyłączyć, jeśli ten sam punkt kulki osiągnie położenie dolnej kreski B. Zanotować czas opadania kulki w sekundach. Wynikiem końcowym będzie średnia arytmetyczna z co najmniej trzech pomiarów, nie różniących się między sobą o więcej niż podano w tabeli 1.

Tabela 1

Przykładowe parametry fizyczne kulek

Nr	Średnica d [mm]	Masa m [g]	Gęstość ρ_k [g/cm ³]	Stała K_k [mPa · cm ³ /g]	Minimalny czas opadania [s]	Przewidywana lepkość przy maksymalnym czasie opadania kulki [mPa · s]	błąd pomiaru [%]
1	15,805	4,6139	2,223	0,0095770	60	0,6 ÷ 5	±2,0
2	15,630	4,4499	2,225	0,075556	60	03 ÷ 30	±0,5
3	15,560	16,0830	8,144	0,12182	30	25 ÷ 250	±0,5
4	15,000	14,3950	8,148	1,2114	30	250 ÷ 2 500	±1,0
5	13,500	9,9351	7,722	10,554	30	2 500 ÷ 25 000	±1,0
6	10,000	4,0399	7,716	40,00	30	8 000 ÷ 80 000	±1,5



Rys. 4. Lepkościomierz Höpplera: 1 – rurka spadowa, 2 – korek, 3 – zakrętka kulpakowa, 4 – korek metalowy, 5 – kapilara w korku, 6 – pokrywa korka, 7 – termometr.

Opracowanie wyników

Obliczyć lepkość dynamiczną η_t z poniższej zależności:

$$\eta_t = K_k (\rho_k - \rho_c) \cdot \tau$$

gdzie:

- η_t – lepkość dynamiczna [mPa·s],
- K_k – stała kulki [mPa·cm³/g],
- ρ_k – gęstość kulki [g/cm³],
- ρ_c – gęstość badanego produktu w temp. pomiaru [g/cm³],
- τ – czas opadania kulki [s].

Przeliczanie lepkości dynamicznej na lepkość kinematyczną

$$\nu = \frac{\eta_t}{\rho_c}$$

gdzie:

- ν – lepkość kinematyczna [mm²/s],
- η_t – lepkość dynamiczna [mPa·s],
- ρ_c – gęstość badanego produktu [g/cm³].

3.2. Obliczanie wskaźnika lepkości

Wskaźnik lepkości WL jest to liczba niemianowana, określająca zależność lepkości kinematycznej badanego oleju od temperatury w stosunku do dwóch olejów przyjętych jako wzorce, których lepkości w temperaturze 100°C są takie same, jak lepkość badanego oleju w temperaturze 100°C. Im wyższa jest wartość wskaźnika lepkości, tym mniejsza zależność lepkości od temperatury. Zasada obliczania wskaźnika lepkości polega na wyznaczeniu jego wartości liczbowej na podstawie wcześniej znanej lepkości kinematycznej, badanego oleju w temperaturze 40°C i 100°C (sposobem I – dla olejów o normowanym wskaźniku lepkości do 100 i sposobem II – powyżej 100), za pomocą wzorów i tabel.

3.2.1. Obliczanie wskaźnika lepkości dla olejów, których $WL \leq 100$

Wskaźnik lepkości WL wyznacza się z poniższego równania:

$$WL = \frac{v_L - v_{v_{40^\circ}}}{v_L - v_H} \cdot 100 = \frac{v_L - v_{v_{40^\circ}}}{v_D} \cdot 100$$

gdzie:

- v_L – lepkość kinematyczna w temperaturze 40°C oleju wzorcowego serii L (WL = 0), mającego w temperaturze 100°C taką samą lepkość kinematyczną, jak badany olej [mm²/s];
- $v_{v_{40^\circ}}$ – lepkość kinematyczna badanego oleju w temperaturze 40°C [mm²/s];
- v_H – lepkość kinematyczna w temperaturze 40°C oleju wzorcowego serii H (WL = 100), mającego w temperaturze 100°C taką samą lepkość kinematyczną, jak badany olej [mm²/s];
- v_D – różnice między lepkościami kinematycznymi olejów wzorcowych serii L i serii H [mm²/s].

Uwaga !

1. Dla oleju, którego lepkość kinematyczna w temperaturze 100°C mieści się w granicach 2 – 70 mm²/s ($v_{v_{100^\circ}}$), wartość v_L i v_D lub v_H odczytać z tabeli 2. Jeżeli lepkość kinematyczna w temperaturze 100°C dla badanego oleju jest większa niż 70 mm²/s ($v_{v_{100^\circ}}$), to wartości v_L i v_D obliczyć z poniższych równań:

$$v_L = 0,8353 \left(v_{v_{100^\circ}} \right)^2 + 14,67 \cdot v_{v_{100^\circ}} - 216$$

$$v_D = 0,6669 \left(v_{v_{100^\circ}} \right)^2 + 2,82 \cdot v_{v_{100^\circ}} - 119$$

gdzie:

- $v_{v_{100^\circ}}$ – lepkość kinematyczna badanego oleju w temperaturze 100°C [mm²/s].

Opracowanie wyników

Jako wartość wskaźnika lepkości oleju należy przyjąć liczbę całkowitą.

3.2.2. Obliczanie wskaźnika lepkości dla olejów, których WL > 100

Wskaźnik lepkości wyznacza się z podanych niżej zależności:

$$N = \frac{\log v_H - \log v_{40^\circ}}{\log v_{100^\circ}}$$

$$WL = \frac{\text{Anty log } N - 1}{0,00715} + 100$$

gdzie:

- $v_{v_{40^\circ}}$ – lepkość kinematyczna badanego oleju w temperaturze 40°C [mm²/s],
- $v_{v_{100^\circ}}$ – lepkość kinematyczna badanego oleju w temperaturze 100°C [mm²/s],
- v_H – lepkość kinematyczna w temperaturze 40°C oleju wzorcowego serii H (WL = 100), mającego w temperaturze 100°C taką samą lepkość kinematyczną, jak badany olej [mm²/s].

Uwaga !

1. Dla oleju, którego lepkość kinematyczna w temperaturze 100°C mieści się w granicach 2 ÷ 70 mm²/s, wartość v_H należy odczytać z tabeli 2.
2. Jeżeli lepkość kinematyczna oleju w temperaturze 100°C jest większa niż 70 mm²/s to wartość v_H należy obliczyć z równania:

$$v_H = 0,1684 \left(v_{v_{100^\circ}} \right)^2 + 11,85 \cdot v_{v_{100^\circ}} - 97$$

gdzie:

- $v_{v_{100^\circ}}$ – lepkość kinematyczna badanego oleju w temperaturze 100°C [mm²/s].

Tabela 2

Wartości v_L , v_D i v_H [mm²/s] dla olejów
o lepkości kinematycznej w temperaturze 100°C (v_{100°) w granicach 2 ÷ 70 mm²/s

v_{100°	v_L	v_H	$v_{D=L-H}$	v_{100°	v_L	v_H	$v_{D=L-H}$
2,00	7,994	6,394	1,600	6,00	57,97	38,19	19,78
2,10	8,640	6,894	1,746	6,10	59,74	39,17	20,57
2,20	9,309	7,410	1,998	6,20	61,52	40,15	21,38
2,30	10,00	7,944	2,056	6,30	62,32	41,13	22,19
2,40	10,71	8,496	2,219	6,40	65,18	42,14	23,03
2,50	11,45	9,063	2,390	6,50	67,12	43,18	23,94
2,60	12,21	9,647	2,467	6,60	69,16	44,24	24,92
2,70	13,00	10,25	2,548	6,70	71,29	45,33	25,96
2,80	13,80	10,87	2,937	6,80	73,48	46,44	27,04
2,90	14,63	11,50	3,132	6,90	75,72	47,51	28,21
3,00	15,49	12,15	3,334	7,00	78,00	48,57	29,43
3,10	16,36	12,85	3,540	7,10	80,25	49,61	30,63
3,20	17,26	13,51	3,753	7,20	82,39	50,69	31,70
3,30	18,18	14,21	3,971	7,30	84,53	51,78	32,74
3,40	19,12	14,93	4,196	7,40	86,66	52,88	33,79
3,50	20,09	15,66	4,428	7,50	88,85	53,98	34,87
3,60	21,08	16,42	4,665	7,60	91,04	55,09	35,94
3,70	22,09	17,19	4,909	7,70	93,20	56,20	37,01
3,80	23,13	17,97	5,157	7,80	95,43	57,31	38,12
3,90	24,19	18,77	5,415	7,90	97,72	58,45	39,27
4,00	25,32	19,56	5,756	8,00	100,0	59,60	40,40
4,10	26,50	20,37	6,129	8,10	102,3	60,74	41,57
4,20	27,75	21,21	6,546	8,20	104,6	61,89	42,72
4,30	29,07	22,05	7,017	8,30	106,9	63,05	43,85
4,40	30,48	23,92	7,560	8,40	109,2	64,18	45,01
4,50	31,96	24,81	8,156	8,50	111,5	65,32	46,19
4,60	33,52	25,71	8,806	8,60	113,9	66,48	47,40
4,70	35,13	26,63	9,499	8,70	116,2	67,64	48,57
4,80	36,79	27,57	10,22	8,80	118,5	68,79	49,75
4,90	38,50	28,53	10,97	8,90	120,9	69,94	50,96
5,00	40,23	28,49	11,74	9,00	123,3	71,10	52,20
5,10	41,99	29,46	12,53	9,10	125,7	72,27	53,40
5,20	43,76	30,43	13,32	9,20	128,0	73,42	54,61
5,30	45,53	31,40	14,13	9,30	130,4	74,57	55,84
5,40	47,31	32,37	14,94	9,40	132,8	75,73	57,10
5,50	49,09	33,34	15,75	9,50	135,3	76,91	58,36
5,60	50,07	34,32	16,55	9,60	137,7	78,08	59,68
5,70	52,64	35,29	17,36	9,70	140,1	79,27	60,87
5,80	54,42	36,26	18,16	9,80	142,7	80,46	62,22
5,90	56,20	37,23	18,97	9,90	145,2	81,67	63,54

Tabela 2 cd

V_{100°	V_L	V_H	$V_{D=L-H}$	V_{100°	V_L	V_H	$V_{D=L-H}$
10,00	147,7	82,87	64,86	14,00	263,3	135,4	128,0
10,10	150,3	84,08	66,22	14,10	266,6	136,8	129,8
10,20	152,9	85,30	67,56	14,20	269,8	138,2	131,6
10,30	155,4	86,51	68,90	14,30	273,0	139,6	133,5
10,40	158,0	87,72	70,25	14,40	276,3	141,0	135,3
10,50	160,6	88,95	71,63	14,50	279,6	142,4	137,2
10,60	163,2	90,19	73,00	14,60	283,0	143,9	139,1
10,70	165,8	91,40	74,42	14,70	286,4	145,3	141,1
10,80	168,5	92,65	75,86	14,80	289,7	146,8	142,9
10,90	171,2	93,92	77,33	14,90	293,0	148,2	144,8
11,00	173,9	95,19	78,75	15,00	296,5	149,7	146,8
11,10	176,6	96,45	80,20	15,10	300,0	151,2	148,8
11,20	179,4	97,71	81,65	15,20	303,4	152,6	150,8
11,30	182,1	98,97	83,13	15,30	306,9	154,1	152,8
11,40	184,9	100,2	84,63	15,40	310,3	155,6	154,8
11,50	187,6	101,5	86,10	15,50	313,9	157,0	156,9
11,60	190,4	102,8	87,61	15,60	317,5	158,6	158,9
11,70	193,3	104,1	89,18	15,70	321,1	160,1	161,0
11,80	196,2	105,4	90,75	15,80	324,6	161,6	163,0
11,90	199,0	106,7	92,30	15,90	328,3	163,1	165,2
12,00	201,9	108,0	93,87	16,00	331,9	164,6	167,3
12,10	204,8	109,4	95,47	16,10	335,5	166,1	169,4
12,20	207,8	110,7	97,07	16,20	339,2	167,7	171,5
12,30	210,7	112,0	98,66	16,30	342,9	169,2	173,7
12,40	213,6	113,3	100,3	16,40	346,6	170,7	175,8
12,50	216,6	114,7	101,9	16,50	350,3	172,3	178,1
12,60	219,6	116,0	103,6	16,60	354,1	173,8	180,3
12,70	222,6	117,4	105,3	16,70	358,0	175,4	182,5
12,80	225,7	118,7	107,0	16,80	361,7	177,0	184,7
12,90	228,8	120,1	108,7	16,90	365,6	178,6	187,0
13,00	231,9	121,5	110,4	17,00	369,4	180,2	189,2
13,10	235,0	122,9	112,1	17,10	373,3	181,7	191,5
13,20	238,1	124,2	113,8	17,20	377,1	183,3	193,8
13,30	241,2	125,6	115,6	17,30	381,0	184,9	196,1
13,40	244,3	127,0	117,3	17,40	384,9	186,5	198,4
13,50	247,4	128,4	119,0	17,50	388,9	188,1	200,8
13,60	250,6	129,8	120,8	17,60	392,7	189,7	203,0
13,70	253,8	131,2	122,6	17,70	396,7	191,3	205,3
13,80	257,0	132,6	124,4	17,80	400,7	192,9	207,7
13,90	260,1	134,0	126,2	17,90	404,6	194,6	210,0

Tabela 2 cd

V_{100°	V_L	V_H	$V_{D=L-H}$	V_{100°	V_L	V_H	$V_{D=L-H}$
18,00	408,6	196,2	212,4	24,00	683,9	301,8	382,1
18,10	412,6	197,8	214,8	24,20	694,5	305,6	388,9
18,20	416,7	199,4	217,3	24,40	704,2	309,4	394,8
18,30	420,7	201,0	219,7	24,60	714,9	313,0	401,9
18,40	424,8	202,6	222,2	24,80	725,7	317,0	408,8
18,50	429,0	204,3	224,7	25,00	736,5	320,9	415,6
18,60	433,2	205,9	227,2	25,20	747,2	324,9	422,4
18,70	437,3	207,6	229,7	25,40	758,2	328,8	429,5
18,80	441,5	209,3	232,3	25,60	769,3	332,7	436,6
18,90	445,7	211,0	234,7	25,80	779,7	336,7	443,0
19,00	449,9	212,7	237,3	26,00	790,4	340,5	449,8
19,10	454,2	214,4	239,8	26,20	801,6	344,4	457,2
19,20	458,4	216,1	242,3	26,40	812,8	348,4	464,4
19,30	462,7	217,7	245,0	26,60	824,1	352,3	471,8
19,40	467,0	219,4	247,6	26,80	835,5	356,4	479,1
19,50	471,3	221,1	250,2	27,00	847,0	360,5	486,6
19,60	475,7	222,8	252,9	27,20	857,5	364,6	492,9
19,70	479,7	224,5	255,2	27,40	869,0	368,3	500,6
19,80	483,9	226,2	257,8	27,60	880,6	372,3	508,3
19,90	488,6	227,7	260,9	27,80	892,3	376,4	515,9
20,00	493,2	229,5	263,7	28,00	904,1	380,6	523,5
20,20	501,5	233,0	268,5	28,20	915,8	384,6	531,2
20,40	510,8	236,4	274,4	28,40	927,6	388,8	538,8
20,60	519,9	240,1	279,8	28,60	938,6	393,0	545,7
20,80	528,8	243,5	285,3	28,80	951,2	396,6	554,5
21,00	538,4	247,1	291,3	29,00	963,4	401,1	562,3
21,20	547,5	250,7	296,8	29,20	975,4	405,3	570,1
21,40	556,7	254,2	302,6	29,40	987,1	409,5	577,6
21,60	566,4	257,8	308,6	29,60	998,9	413,5	585,3
21,80	575,6	261,5	314,1	29,80	1011	417,6	593,4
22,00	585,2	264,9	320,2	30,00	1023	421,7	601,6
22,20	595,0	268,6	326,4	30,50	1055	432,4	622,3
22,40	604,3	272,3	332,0	31,00	1086	443,2	643,2
22,60	614,2	275,8	338,4	31,50	1119	454,0	664,5
22,80	624,1	279,6	344,5	32,00	1151	464,9	686,0
23,00	633,6	283,3	350,3	32,50	1184	475,9	708,0
23,20	643,4	286,8	356,6	33,00	1217	487,0	730,2
23,40	653,8	290,5	363,3	33,50	1251	498,1	752,8
23,60	663,3	294,4	369,0	34,00	1286	509,6	776,8
23,80	673,7	297,9	375,7	34,50	1321	521,1	799,9

Tabela 2 cd

V_{100°	V_L	V_H	$V_{D=L-H}$	V_{100°	V_L	V_H	$V_{D=L-H}$
35,00	1356	532,5	823,4	55,00	3126	1066	2060
35,50	1391	544,0	847,2	55,50	3180	1082	2098
36,00	1427	555,6	871,2	56,00	3233	1097	2136
36,50	1464	567,1	896,5	56,50	3286	1112	2174
37,00	1501	579,3	921,8	57,00	3340	1127	2213
37,50	1533	591,3	946,8	57,50	3396	1143	2253
38,00	1575	603,1	972,3	58,00	3452	1159	2293
38,50	1613	615,0	998,3	58,50	3507	1175	2332
39,00	1651	627,1	1024	59,00	3563	1190	2372
39,50	1691	639,2	1052	59,50	3619	1206	2413
40,00	1730	651,8	1079	60,00	3676	1222	2454
40,50	1770	664,2	1106	60,50	3734	1238	2496
41,00	1810	676,6	1133	61,00	3792	1254	2538
41,50	1851	689,1	1162	61,50	3850	1270	2579
42,00	1892	701,9	1191	62,00	3908	1286	2621
42,50	1935	714,9	1220	62,50	3966	1303	2664
43,00	1978	728,2	1250	63,00	4026	1319	2707
43,50	2021	741,3	1280	63,50	4087	1336	2751
44,00	2064	754,4	1310	64,00	4147	1392	2795
44,50	2108	767,6	1340	64,50	4207	1369	2858
45,00	2152	780,9	1371	65,00	4268	1386	2882
45,50	2197	794,5	1403	65,50	4329	1402	2927
46,00	2243	808,2	1434	66,00	4392	1419	2973
46,50	2288	821,9	1466	66,50	4455	1436	3018
47,00	2333	835,5	1498	67,00	4517	1454	3064
47,50	2380	849,2	1530	67,50	4580	1471	3110
48,00	2426	863,0	1563	68,00	4645	1488	3157
48,50	2473	876,9	1596	68,50	4709	1506	3204
49,00	2521	890,9	1630	69,00	4773	1523	3250
49,50	2570	905,3	1665	69,50	4839	1541	3298
50,00	2618	919,6	1699	70,00	4905	1558	3346
50,50	2667	933,6	1733				
51,00	2717	948,2	1769				
51,50	2767	962,9	1804				
52,00	2817	977,5	1839				
52,50	2867	992,1	1875				
53,00	2918	1007	1911				
53,50	2969	1021	1947				
54,00	3020	1036	1984				
54,50	3173	1051	2022				

4. OPRACOWANIE ĆWICZENIA

1. Porównać otrzymane wyniki z katalogową lepkością.
2. Obliczyć o ile procent lepkość badanego oleju różni się od wartości lepkości oleju świeżego.
3. Porównać obliczoną odchyłkę z wartością dozwolonych odchyłek podanych przez producentów olejów i stwierdzić, czy badany olej, ze względu na jego lepkość, nadaje się do dalszej eksploatacji.
4. Jaki wniosek diagnostyczny wynika z przeprowadzonego badania.
5. Na podstawie obliczonej wartości wskaźnika lepkości WL ocenić przydatność eksploatacyjną badanego oleju.
6. W tabelach 3 – 6 zamieszczonych na końcu instrukcji podano wartości ostrzegawcze dla podstawowych parametrów fizykochemicznych niektórych olejów firm: Elf, Castrol i Mobil oraz wartości graniczne zalecane przez producentów silników okrętowych.

5. FORMA I WARUNKI ZALICZENIA ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO

1. zaliczenie tzw. „wejściówki” przed przystąpieniem do wykonania ćwiczenia.
2. złożenie poprawnego sprawozdania pisemnego z wykonanego ćwiczenia, które powinno zawierać:
 - krótki wstęp teoretyczny,
 - znaczenie eksploatacyjne mierzonego parametru,
 - opracowanie uzyskanych wyników wg instrukcji stanowiskowej.
3. zaliczenie końcowe na kolokwium pod koniec semestru.

I. Przykład zadania z rozwiązaniem

Metodą Höpplera przeprowadzono w temperaturze 40° i 100°C pomiar lepkości oleju Marinol RG 1530 pobranego z obiegu silnika bezwzrostkowego. Korzystając z podanych niżej danych, obliczyć lepkość oraz wskaźnik lepkości WL tego oleju. Na podstawie uzyskanych pomiarów i obliczeń określić przydatność eksploatacyjną badanego oleju.

Dane:

- gęstość oleju zmierzona w temperaturze 19,6°C wynosi 0,891 g/cm³,
- temperaturowy współczynnik gęstości dla tego oleju wynosi $\alpha = 0,000647 \text{ g/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$ (Tabela 1 z instrukcji ćwiczenia – Pomiar gęstości...);
- średni czas przepływu kulki w kierunku normalnym, dla pomiaru w 40°C wynosi 115,8 s;
- średni czas przepływu kulki w kierunku odwrotnym, dla pomiaru w 40°C wynosi 116,1 s;
- gęstość kulki użytej do pomiaru lepkości w temp. 40°C wynosi 8,144 g/cm³;
- stała kulki dla kierunku normalnego wynosi 0,12106 mPa·cm³/g;
- stała kulki dla kierunku odwrotnego wynosi 0,12071 mPa·cm³/g;
- średni czas przepływu kulki w kierunku normalnym, dla pomiaru w 100°C wynosi 96,35 s;
- średni czas przepływu kulki w kierunku odwrotnym, dla pomiaru w 100°C wynosi 96,4 s;
- gęstość kulki użytej do pomiaru lepkości w temp. 100°C wynosi 2,225 g/cm³;
- stała kulki dla kierunku normalnego wynosi 0,075556 mPa·cm³/g;
- stała kulki dla kierunku odwrotnego wynosi 0,07474 mPa·cm³/g;

Obliczenia:

Przed przystąpieniem do obliczeń lepkości należy przeliczyć gęstość oleju z temperatury pomiaru tej gęstości areometrem, na temperatury pomiaru lepkości, czyli na: 40° i 100°C, zgodnie z zależnością:

$$\rho^{t_1} = \rho^{t_0} - \alpha(t_1 - t_0)$$

gdzie:

ρ^{t_1} – gęstość oleju w temperaturze t_1 [g/cm³],

ρ^{t_0} – gęstość oleju w temperaturze t_0 [g/cm³],

α – współczynnik temperaturowy gęstości [g/cm³ · °C].

a zatem gęstość badanego oleju w temp 40°C wynosi:

$$\rho^{40} = 0,891 \text{ g/cm}^3 - 0,000647 \text{ g/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}(40^\circ\text{C} - 19,6^\circ\text{C}) = 0,878 \text{ g/cm}^3$$

natomiast gęstość w temperaturze 100°C wynosi:

$$\rho^{100} = 0,891 \text{ g/cm}^3 - 0,000647 \text{ g/cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}(100^\circ\text{C} - 19,6^\circ\text{C}) = 0,839 \text{ g/cm}^3$$

Obliczanie lepkości oleju badanej w temperaturze 40°C

Lepkość dynamiczną oznaczaną metodą Höpplera w temp. 40°C obliczamy ze wzoru:

$$\eta = K_{n/o}(\rho_k - \rho_c)\tau$$

gdzie:

- η – lepkość dynamiczna oleju [mPa·s],
- K_n – stała kulki dla kierunku normalnego [mPa·cm²/g],
- K_o – stała kulki dla kierunku odwrotnego [mPa·cm²/g],
- ρ_k – gęstość kulki [g/cm³],
- ρ_c – gęstość badanego oleju w temperaturze pomiaru jego lepkości [g/cm³],
- τ – czas opadania kulki [s].

dla kierunku normalnego lepkość wynosi:

$$\eta_{K_n}^{40} = 0,12106 \text{ mPa} \cdot \text{cm}^3/\text{g} (8,144 \text{ g/cm}^3 - 0,878 \text{ g/cm}^3) 115,8 \text{ s} = 101,86 \text{ mPa} \cdot \text{s}$$

dla kierunku odwrotnego lepkość wynosi:

$$\eta_{K_o}^{40} = 0,12071 \text{ mPa} \cdot \text{cm}^3/\text{g} (8,144 \text{ g/cm}^3 - 0,878 \text{ g/cm}^3) 116,1 \text{ s} = 101,83 \text{ mPa} \cdot \text{s}$$

średnia wartość lepkości dynamicznej oznaczonej w 40°C wynosi:

$$\eta_{sr}^{40} = \frac{101,86 \text{ mPa} \cdot \text{s} + 101,83 \text{ mPa} \cdot \text{s}}{2} = 101,845 \text{ mPa} \cdot \text{s}$$

Następnie przeliczamy lepkość dynamiczną na kinematyczną z zależności:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho_c}$$

gdzie:

- ν – lepkość kinematyczna [mm²/s],
- η – lepkość dynamiczna [mPa·s],
- ρ_c – gęstość badanego oleju [g/cm³].

a zatem

$$\nu^{40} = \frac{101,845 \text{ mPa} \cdot \text{s}}{0,878 \text{ g/cm}^3} = 116,03 \text{ mm}^2/\text{s}$$

Wniosek:

Lepkość kinematyczna badanego oleju w temperaturze 40°C wynosi 116,03 mm²/s, zaś lepkość oleju świeżego Marinol RG 1530 wg danych producenta winna zawierać się w zakresie 110 – 112 mm²/s. Lepkość badanego oleju wzrosła zatem o 4,53%, co świadczy, że olej ten nadaje się do dalszej eksploatacji, ponieważ dopuszczalne zmiany lepkości w stosunku do lepkości oleju świeżego wynoszą ±25%.

Obliczanie lepkości oleju badanej w temperaturze 100°C

Lepkość dynamiczną oznaczaną metodą Höpplera w temp. 100°C obliczamy ze wzoru:

$$\eta = K_{n/o} (\rho_k - \rho_c) \tau$$

zatem dla kierunku normalnego wynosi:

$$\eta_{K_n}^{100} = 0,075556 \text{ mPa} \cdot \text{cm}^3/\text{g} (2,225 \text{ g/cm}^3 - 0,839 \text{ g/cm}^3) 96,35 \text{ s} = 10,09 \text{ mPa} \cdot \text{s}$$

a dla kierunku odwrotnego wynosi:

$$\eta_{K_o}^{100} = 0,075474 \text{ mPa} \cdot \text{cm}^3/\text{g} (2,225 \text{ g/cm}^3 - 0,839 \text{ g/cm}^3) 96,40 \text{ s} = 10,08 \text{ mPa} \cdot \text{s}$$

średnia wartość lepkości dynamicznej oznaczonej w 100°C wynosi:

$$\eta_{sr}^{100} = \frac{10,09 \text{ mPa} \cdot \text{s} + 10,08 \text{ mPa} \cdot \text{s}}{2} = 10,085 \text{ mPa} \cdot \text{s}$$

Następnie przeliczamy lepkość dynamiczną na kinematyczną z zależności

$$v = \frac{\eta}{\rho_c}$$

a zatem:

$$v^{100} = \frac{10,085 \text{ mPa} \cdot \text{s}}{0,839 \text{ g/cm}^3} = 12,02 \text{ mm}^2/\text{s}$$

Wniosek:

Lepkość kinematyczna badanego oleju w temperaturze 100°C wynosi 12,02 mm²/s, a lepkość oleju świeżego Marinol RG 1530 wg danych producenta winna zawierać się w zakresie 11 – 12 mm²/s. Lepkość badanego oleju wzrosła o 4,55%, co świadczy, że olej ten nadaje się do dalszej eksploatacji ponieważ dopuszczalne zmiany lepkości wynoszą ±25%.

Obliczanie wskaźnika lepkości – WL

Wskaźnik lepkości WL wyznacza się z poniższego równania:

$$WL = \frac{v_L - v_{v_{40^\circ}}}{v_L - v_H} \cdot 100 = \frac{v_L - v_{v_{40^\circ}}}{v_D} \cdot 100$$

gdzie:

- v_L – lepkość kinematyczna w temperaturze 40°C oleju wzorcowego serii L (WL = 0), mającego w temperaturze 100°C taką samą lepkość kinematyczną, jak badany olej [mm²/s] – (Tabela 2 instrukcji);
- $v_{v_{40^\circ}}$ – lepkość kinematyczna badanego oleju w temperaturze 40°C [mm²/s];
- v_H – lepkość kinematyczna w temperaturze 40°C oleju wzorcowego serii H (WL = 100), mającego w temperaturze 100°C taką samą lepkość kinematyczną, jak badany olej [mm²/s] – (Tabela 2 instrukcji);
- v_D – różnice między lepkościami kinematycznymi olejów wzorcowych serii L i serii H [mm²/s] – (Tabela 2 instrukcji).

Z tabeli nr 2 instrukcji dla przypadku, gdy lepkość badanego oleju w temperaturze 100°C wynosi: $\nu^{100} = 12,0 \text{ mm}^2/\text{s}$, odczytujemy dane do obliczenia WL.

Dane: $\nu_L = 201,9 \text{ mm}^2/\text{s}$, $\nu_L - \nu_H = \nu_D = 93,87 \text{ mm}^2/\text{s}$,

oraz wcześniej obliczona lepkość oleju w 40°C $\nu_{\nu_{40^\circ}} = 116,03 \text{ mm}^2/\text{s}$, a zatem:

$$WL = \frac{201,9 \text{ mm}^2/\text{s} - 116,03 \text{ mm}^2/\text{s}}{93,87 \text{ mm}^2/\text{s}} \cdot 100 = 91$$

Wskaźnik lepkości WL badanego oleju wynosi 91 i według obowiązujących limitów dla okrętowych olejów silnikowych nie może być mniejszy od 90, zatem spełnia on wymagania w tym zakresie.

Wniosek końcowy:

Badany olej ze względu na oznaczane parametry nadaje się do dalszej eksploatacji, a nieznaczny wzrost jego lepkości sugeruje, że olej ten jest eksploatowany w sprawnie działającym silniku i czas użytkowania oleju nie jest zbyt długi.

Parametry obecnie używanych kulek do pomiaru lepkości

KULKA DO POMIARU LEPKOŚCI OLEJÓW W TEMPERATURZE 40°C

Masa kulki	– 16,1671 g
Gęstość kulki	– 8,137 g
Stała K dla kierunku normalnego	– 0,087758 mPa · cm³/g
Stała K dla kierunku odwrotnego	– 0,087581 mPa · cm³/g

KULKA DO POMIARU LEPKOŚCI OLEJÓW W TEMPERATURZE 100°C

Masa kulki	– 4,44 g
Gęstość kulki	– 2,225 g
Stała K dla kierunku normalnego	– 0,075556 mPa · cm³/g
Stała K dla kierunku odwrotnego	– 0,075474 mPa · cm³/g

II. Zadania i pytania do samodzielnego wykonania przez studenta

Zadania

1. Analiza używanego oleju Marinol RG 530 pobranego z obiegu silnika głównego wodorowego wykazała, że jego lepkość kinematyczna w temp 40°C wynosi 143,99 mm²/s, a liczba zasadowa BN 12,28 mg KOH/g oleju. Parametry oleju świeżego wynoszą odpowiednio: lepkość kinematyczna w temperaturze 40°C – 110 – 112 mm²/s, a BN 5 mg KOH/g oleju. Na podstawie ww. danych ocenić przydatność eksploatacyjną badanego oleju oraz podać przyczyny zmian jego parametrów.
2. Oznaczono lepkość i temperaturę zapłonu oleju Marinol RG 2040 z obiegu silnika pomocniczego. Uzyskano następujące wyniki: lepkość kinematyczna oleju wynosi 145,15 mm²/s, a temperatura zapłonu w tyglu zamkniętym 159°C. Lepkość oleju świeżego w temperaturze 40°C zawiera się w granicach 158 – 170 mm²/s. Określić przydatność eksploatacyjną tego oleju oraz podać przyczyny zmian jego parametrów.
3. Oznaczono lepkość, wskaźnik lepkości i temperaturę zapłonu oleju Marinol RG 1530 z obiegu silnika pomocniczego. Uzyskano następujące wyniki: lepkość kinematyczna oleju wynosi 134,18 mm²/s, a wskaźnik lepkości WL = 95, temperatura zapłonu w tyglu zamkniętym 202°C. Lepkość oleju świeżego w temperaturze 40°C zawiera się w granicach 110 – 112 mm²/s. Określić przydatność eksploatacyjną tego oleju oraz podać przyczyny zmian jego parametrów.
4. Dla oleju hydraulicznego Castrol Hyspin AWS 68 podać, jakiej podlega on klasyfikacji i co oznacza kod liczbowy w nazwie.
5. Dla oleju Marinol RG 2040 podać, jakiej podlega on klasyfikacji i co oznaczają cyfry w nazwie.

Pytania

1. Co to jest lepkość, jakie są jej rodzaje i jednostki?
2. Jakie są metody pomiaru lepkości i w jaki sposób wyznacza się lepkość kinematyczną oleju smarowego?
3. Wyjaśnić znaczenie eksploatacyjne lepkości jako jednego z podstawowych parametrów użytkowych olejów smarowych.
4. Jakie czynniki mają wpływ na lepkość?
5. Jak zmienia się lepkość oleju silnikowego w czasie eksploatacji i jakie są tego przyczyny?
6. Jakie są wartości graniczne zmian lepkości olejów obiegowych do silników bezwodzikowych?
7. Co to jest wskaźnik lepkości WL olejów smarowych, co charakteryzuje i jakie są jego wartości dla olejów mineralnych i syntetycznych?
8. W jaki sposób wyznacza się WL olejów smarowych?
9. Co to jest klasyfikacja lepkościowa olejów silnikowych i jakie są jej kryteria?
10. Podać klasy lepkości dla olejów obiegowych silników bezwodzikowych, olejów skrzyni korbowej silników wodorowych i olejów cylindrowych.
11. Podać zasady klasyfikacji lepkościowej dla olejów niesilnikowych (hydraulicznych, przekładniowych, turbinowych).

Tabele pomocnicze

Tabela 3

Wartości ostrzegawcze dla podstawowych parametrów fizykochemicznych niektórych olejów firmy Elf

Oznaczenia	Disola M3015 Disola M4015	Aurelia XT4040
Lepkość kinematyczna w temperaturze 40°C [mm ² /s]	+30% -20%	+30% - 20%
Liczba zasadowa [mg KOH/g]	> 8	> 15
Temperatura zapłonu w tyglu zamkniętym [°C]	> 180	> 180
Zawartość wody [%]	< 0,3	< 0,3
Zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w n-pentanie [%]	< 2	< 2

Tabela 4

Wartości ostrzegawcze dla podstawowych parametrów fizykochemicznych niektórych olejów firmy Castrol

Oznaczenia	Castrol MPX 40 Castrol MLC 40	Castrol MXD 303
Lepkość kinematyczna w temperaturze 40°C [mm ² /s]	± 25%	± 25%
Liczba zasadowa [mg KOH/g]	- 50%	-50%
Temperatura zapłonu w tyglu zamkniętym [°C]	> 180	> 180
Zawartość wody [%]	< 0,2	< 0,2
Zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w n-pentanie [%]	< 2	< 4

Tabela 5

Wartości ostrzegawcze dla podstawowych parametrów fizykochemicznych niektórych olejów firmy Mobil

Oznaczenia	Mobil 312	Mobil 412	Mobil 442
Lepkość kinematyczna w temperaturze 40°C [mm ² /s]	min mm ² /s max 143 mm ² /s	min 102 mm ² /s max 218 mm ² /s	min 102 mm ² /s max 218 mm ² /s
Liczba zasadowa [mg KOH/g]	- 50%	- 50%	- 50%
Temperatura zapłonu w tyglu zamkniętym [°C]	> 190	> 190	> 190
Zawartość wody [%]	< 0,2	< 0,2	< 0,2
Zawartość zanieczyszczeń nierozpuszczalnych w n-pentanie [%]	< 2	< 2	< 2

Tabela 6

Wartości graniczne dla podstawowych parametrów fizykochemicznych olejów smarowych zalecane przez zachodnich producentów silników okrętowych

Silniki z zapłonem samoczynnym			Lepkość kinematyczna [mm ² /s] w temperaturze 100°C		Temperatura zapłonu TZ	Zawartość wody max	Zawartość zanieczy- szczeń	BN
producent	typ	model	min	max	[°C]	[% wag.]	[% wag.]	[mgKOH/g]
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Daihatsu	czterosuwowy	wszystkie	-20%	+30%	180	0,1% obj.	2,5	3,0 dla paliwa (MDO) 5,0 dla paliwa (LMFO) 10,0 dla paliwa (HFO)
Deutz-MWM	czterosuwowy	D/TBD 234 TBD 604 B S/BAM 816	9 (SAE 30) 11 (SAE 40)	+25%	190	0,2	2,0	min 50%
	czterosuwowy	D/TBD 440 S/BAM 628 TBD 645 R/S/BVM 640	9 (SAE 30) 11 (SAE 40)	+25%	190	0,2	2,0	min 60%
Krupp MaK	czterosuwowy	wszystkie	80 przy 40°C (SAE 30) 130 przy 40°C (SAE 40)		180	0,2	2,0	min 15* min 18** min 50% dla paliw MDO/MGO
MAN B&W	czterosuwowy dwusuwowy	20/27 do 58/64	±1 stopień SAE		185	0,5	1,5	min 50%* min 70%**
MTU	czterosuwowy	wszystkie	9,0 (SAE 30) 10,5 (SAE 40)	+25%	190	0,2	2,5	min 50%
Wartsila	czterosuwowy	VASA 46	11,5 dla 40°C 95	19 dla 40°C 212	170	0,3 (0,5)	2,0	50% min 15
Sulzer	dwusuwowy (olejowe chłodzenie tłoków)	RTA 84 C/M/T 72, 62, 52 48, 38	-10%	+20%	180	0,5	0,5	min 5
	dwusuwowy (wodne chłodzenie tłoków)	RTA 84, 76, 68, 58 i wszystkie RND, RLA i RLB	-10%	+20%	180	0,5	0,5	min 5
	czterosuwowy	Z40, ZA40, ZA40S	-20%	+30%	180	0,5	2,5	min 60%
	czterosuwowy	typ-A i S20	-20%	+30%	180	0,5	2,5	min 50%
Yanmar	czterosuwowy	wszystkie	-20%	+30%	180	0,3% obj.	2,0	4 (dla paliwa MDO) 15 (dla paliwa HFO)

* silniki z oddzielnym obiegiem oleju cylindrowego, zasilane paliwem HFO,

** silniki bez oddzielnego obiegu oleju cylindrowego, zasilane paliwem HFO,

*** dotyczy silnika MaK 453 C.